

УДК 620.19

А. В. Михайлов, Ю. Л. Гобов, Я. Г. Смординский

Институт физики металлов УрО РАН,

г. Екатеринбург

ТЕХНОЛОГИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПРИЕМА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В МЕТАЛЛАХ

Рассматриваются основные принципы ЭМА технологии: механизмы ЭМА преобразования, влияние подмагничивающего поля на ЭМА преобразование, распространенные конструкции ЭМА преобразователей. Особое внимание уделено возбуждению и приему ультразвуковых волн в ферромагнетиках, приведены современные способы и разработки, позволяющие повысить эффективность ЭМА преобразования при контроле ферромагнитных объектов любой толщины.

Ключевые слова: Неразрушающий контроль, диагностика, ультразвук, электромагнитно акустическое преобразование, повышение эффективности.

A. V. Mikhaylov, Y. L. Gobov, J. G. Smorodinskij

THE TECHNOLOGY OF CONTACTLESS ELECTROMAGNETIC ACOUSTIC TRANSMISSION AND RECEPTION OF ULTRASONIC WAVES IN METALS

The basic principles of technology EMAT are transformation mechanisms, the influence of the magnetizing field on the EMAT transformation, common structures of transducers. Special attention is paid to the transmission and reception of ultrasonic waves in ferromagnetic materials, modern methods and developments improving the efficiency of EMAT transformation under the control of ferromagnetic objects of any thickness are given.

Keywords: non-destructive testing, diagnostics, ultrasound, electromagnetic acoustic transformation, increasing the efficiency.

Ультразвуковые методы неразрушающего контроля (УЗК) считаются одними из самых достоверных и высокоскоростных, но необходимость в обеспечении акустического контакта между ультразвуковыми преобразователями и контролируемым изделием является основным сдерживающим фактором для широкого применения УЗК в промышленности.

Поэтому на сегодняшний день особенно актуальна разработка бесконтактных методов генерации и приема ультразвуковых волн в металлах. Наибольшие технические успехи при контроле проводящих материалов достигнуты за счет применения электромагнитно-акустического (ЭМА) способа возбуждения и приема ультразвуковых волн [1]. В отличие от контактных ультразвуковых методов контроля (УЗК), ЭМА метод не требует применения акустической жидкости и с большим успехом может применяться в тех областях, в которых применение контактного УЗК недостаточно эффективно: контроль изделий с загрязненной поверхностью без специальной зачистки, дефектоскопия горячих и холодных изделий, диагностика длинномерных ферромагнитных объектов при больших скоростях контроля и пр.

Электромагнитно-акустическое преобразование есть частичное превращение энергии электромагнитных колебаний в энергию акустических колебаний. С равной эффективностью происходит как генерация упругих волн в среде электромагнитным полем, так и возбуждение электромагнитных волн ультразвуком, падающим на поверхность проводника. Прямым ЭМА преобразованием, как правило, называют преобразование электромагнитных волн в акустические, преобразование акустических волн в электромагнитные – обратным ЭМА преобразованием.

Принципиально суть ЭМА преобразования можно описать следующим образом (рис. 1, а). Через катушку первичного ЭМА преобразователя 3 пропускается ток ультразвуковой частоты, и на поверхности металла 2 возникают вихревые токи.

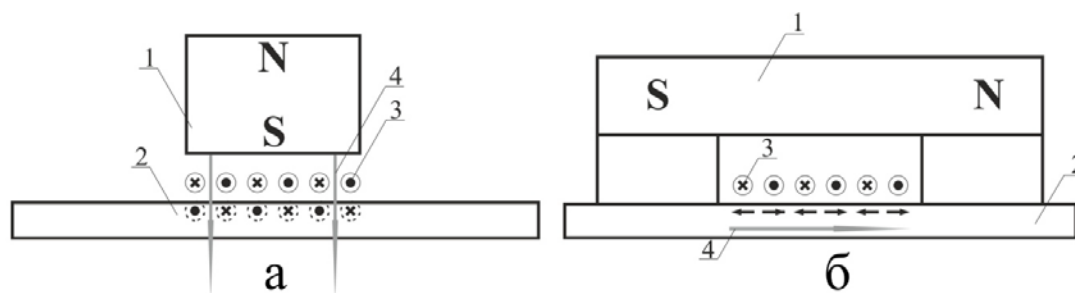


Рис. 1. Механизмы ЭМА преобразования: а – электродинамический; б – магнестрикционный: 1 – постоянный магнит; 2 – объект контроля; 3 – катушка для возбуждения/приема ультразвуковых волн; 4 – направление подмагничивающего поля

Взаимодействуя с магнитным полем постоянного магнита 4, вихревой ток создает силу Лоренца, которая вызывает колебания в локальной поверхностной области металла под магнитом. Колебания передаются по решетке, превращаясь в бегущую ультразвуковую волну. Отразившись от дефекта или от противоположной стенки металла, волна возвращается, вызывая колебания поверхности металла. Так как поверхность находится в постоянном магнитном поле, ее колебания приводят к возникновению высокочастотного переменного тока, который преобразуется в электрический сигнал в приемной катушке ЭМА преобразователя.

Кроме механизма, основанного на силе Лоренца, называемого также электродинамическим, существует магнитострикционный механизм, показанный на рис. 1, б, и обусловленный изменением размеров ферромагнетика при помещении его в магнитное поле.

В зависимости от конструкции ЭМА преобразователей (рис. 2) возбуждаются либо продольные, либо поперечные волны с заданным направлением плоскости поляризации.

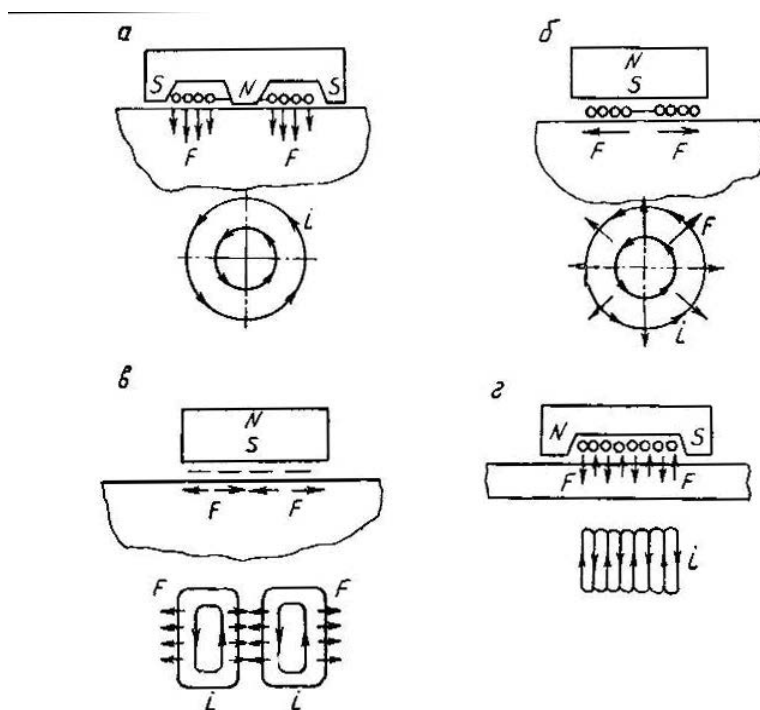


Рис. 2. Возбуждение различных типов волн ЭМА методом (i – линия вихревого тока; F – сила, действующая на поверхность металла): a – продольных по нормали к поверхности; $б$ – поперечных по нормали к поверхности; $в$ – под углом к поверхности и Рэлеевских; $г$ – нормальных [3]

С помощью ЭМА метода возможно также бесконтактное возбуждение волн Лэмба, Рэлея и нормальных поперечных (SH) волн. Для возбуждения и приема этих типов волн используются первичные ЭМА преобразователи в виде меандра с 5–6 периодами. Большое количество периодов позволяет существенно увеличить эффективность ЭМА преобразования и эти типы волн нашли широкое применение при контроле листов и тонкостенных конструкций. Направления распространения ультразвуковых волн от таких преобразователей показаны на рис. 3. Период меандра определяет длину волны возбуждаемого или принимаемого ультразвука.

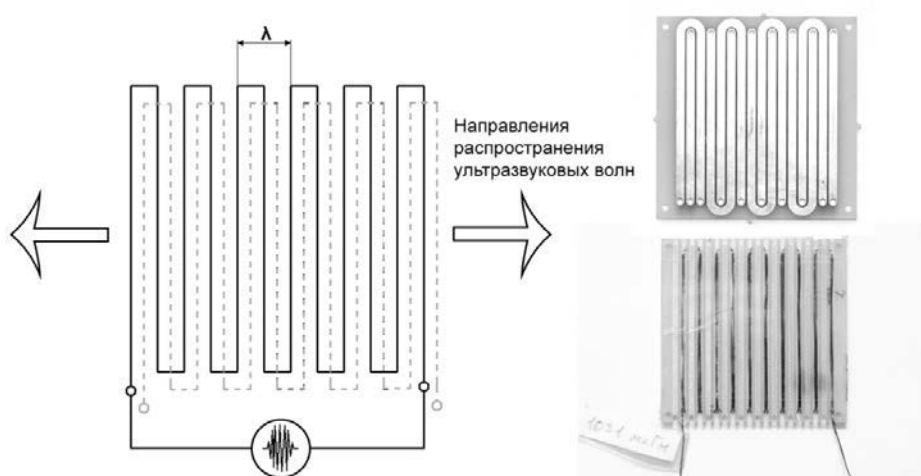


Рис. 3. Конструкция и внешний вид первичных ЭМА преобразователей для возбуждения и приема волн Лэмба, Рэлея и нормальных поперечных волн (SH)

Следует отметить, что ослабление сигнала происходит как при прямом, так и при обратном ЭМА преобразовании, поэтому амплитуда принятого сигнала мала настолько, что в отечественных и зарубежных научных изданиях сложилось устойчивое мнение о низкой чувствительности ЭМА технологии по сравнению с контактным УЗК: по данным различных источников разница в чувствительности может превышать 10 000 раз [2]. Для увеличения чувствительности повышают ток в обмотке излучающего первичного ЭМА преобразователя, увеличивают число витков в обмотке приемных первичных ЭМА преобразователей до 70–100 витков, а также искусственно повышают чувствительность за счет применения усилителей, многократного «прозвучивания» одного и того же участка объекта контроля и сложной

обработки принятого сигнала. Дополнительная возможность увеличения эффективности ЭМА преобразования заключается в увеличении подмагничивающего поля.

Появление в настоящее время современных магнитных материалов позволяет в разы увеличить подмагничивающее поле и тем самым более чем в 10 раз повысить эффективность двойного ЭМА преобразования.

На рис. 4 приведена конструкция намагничивающей системы с неколлинеарной конфигурацией, состоящая из современных высокоэнергетичных магнитов, разработанная в ИФМ УрО РАН. Такая намагничивающая система способна намагнитить материал ферромагнетика до индукции, превышающей 2 Тл во всей области, на которую воздействует первичный ЭМА преобразователь.

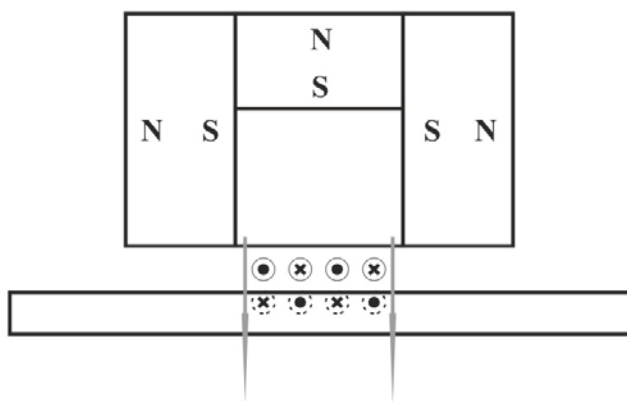


Рис. 4. Конструкция неколлинеарной намагничивающей системы

При использовании магнитострикционного механизма для эффективного ЭМА преобразования необходимо создать подмагничивающее поле порядка 300 А/см. Импульсная намагничивающая система с тангенциальным подмагничиванием, способная создавать такие поля и разработанная в ИФМ УрО РАН, показана на рис. 5. Она представляет собой П-образный электромагнит, который можно использовать при сканировании ЭМА способом, так как зазор между полюсами электромагнита и поверхностью ферромагнетика может достигать 3–5 мм.

Намагничивающая система позволяет повысить эффективность ЭМА преобразователей, а также значительно снизить их массу и силу притяжения к

объекту контроля. Разработанная импульсная намагничивающая система может быть использована как для ЭМА толщинометрии, так и для волноводного ультразвукового контроля ЭМА способом с помощью волн Лэмба, Рэлея или нормальных поперечных волн (SH).

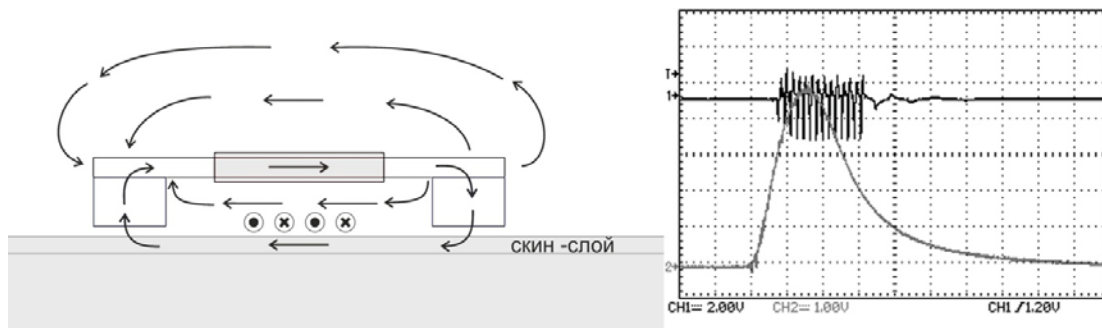


Рис. 5. Конструкция импульсной намагничивающей системы и осциллограмма импульса подмагничивания на фоне зондирующего импульса

Применение ЭМА технологии перспективно для высокоскоростного ультразвукового контроля качества металлических изделий как в технологическом потоке производства, так и в процессе их эксплуатации. Современные разработки и технологии повышения эффективности ЭМА преобразования дают предпосылки для развития современной высокоэффективной и чувствительной ЭМА аппаратуры и позволяют в некоторых случаях практически сравняться по чувствительности с контактным УЗК.

Список литературы

1. Васильев А. Н., Бучельников В. Д., Гуревич С. Ю. Электромагнитное возбуждение звука в металлах. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001 – 339с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В. В. Клюев [и др.] – М. : Машиностроение, 2005. – 656 с.
3. Алешин Н. П., Лупачев В. Г. Ультразвуковая дефектоскопия : справ. пособие. – Мн.: Выш. шк., 1987 – 271 с.